

# PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 62-156535  
 (43)Date of publication of application : 11.07.1987

(51)Int.CI. G01M 11/02  
 G02F 2/00  
 // G02B 6/00  
 H04B 9/00  
 H04B 17/00

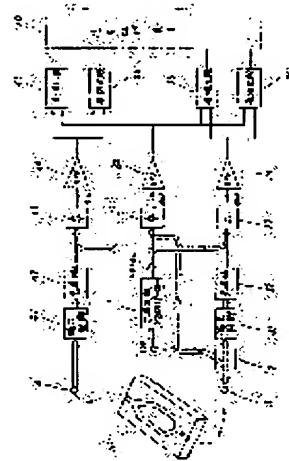
(21)Application number : 60-296073 (71)Applicant : YOKOGAWA ELECTRIC CORP  
 (22)Date of filing : 27.12.1985 (72)Inventor : IWAOKA HIDETO

## (54) LIGHT FREQUENCY NETWORK ANALYZER

### (57)Abstract:

**PURPOSE:** To measure with a high accuracy an amplitude, a phase characteristic, etc., by comparing an electric output of the first filter part, and an electric signal related to a frequency difference of the first and the second optical outputs, and executing a signal processing.

**CONSTITUTION:** The titled analyzer is provided with a light frequency sweeper 1 for generating the first optical output for sweeping a frequency and the second optical output related to said first optical output and emitting the first optical output to a measuring object, the first heterodyne detecting parts 33, 43 for inputting a light beam related to the emitted light of the measuring object based on the first optical output and the second optical output, the first filter parts 34, 44 for inputting an electric output of this first optical heterodyne detecting part, comparing means 35, 36, 45 and 46 for comparing an electric output of the first filter part and an electric signal related to a frequency difference of the first and the second optical outputs, and a signal processing means 50 for inputting an electric output of this comparing means and executing a signal processing. In this way, a light frequency network analyzer which can measure an amplitude, a phase characteristic, etc. with a high accuracy is obtained.



### LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

⑯ 日本国特許庁 (JP) ⑰ 特許出願公開  
 ⑱ 公開特許公報 (A) 昭62-156535

⑨Int.CI.	識別記号	庁内整理番号	⑩公開 昭和62年(1987)7月11日
G 01 M 11/02		Q - 2122-2G	
G 02 F 2/00		7348-2H	
// G 02 B 6/00		L - 7370-2H	
H 04 B 9/00		K - 6538-5K	審査請求 未請求 発明の数 1 (全13頁)
17/00		M - 6538-5K	

④発明の名称 光周波数ネットワーク・アナライザ

⑪特願 昭60-296073

⑫出願 昭60(1985)12月27日

⑬発明者 岩岡秀人 武藏野市中町2丁目9番32号 横河北辰電機株式会社内  
 ⑭出願人 横河電機株式会社 武藏野市中町2丁目9番32号  
 ⑮代理人 弁理士 小沢信助

明細書

1. 発明の名称

光周波数ネットワーク・アナライザ

2. 特許請求の範囲

(1) 周波数抑引する第1の光出力およびこの第1の光出力に逆連する第2の光出力を発生し第1の光出力を測定対象に出射する光周波数スイーパと、前記第1の光出力に基づく前記測定対象の出射光に逆連する光および前記第2の光出力を入力する第1の光ヘテロダイン検波部と、この第1の光ヘテロダイン検波部の電気出力を入力する第1のフィルタ部と、前記第1のフィルタ部の電気出力と前記第1および第2の光出力の周波数差に逆連する信号処理部とを比較する比較手段と、この比較手段の電気出力を入力して信号処理する信号処理手段とを備えたことを特徴とする光周波数ネットワーク・アナライザ。

(2) 前記第1および第2の光出力を入力する第2の光ヘテロダイン検波部と、この第2の光ヘテロダイン検波部の電気出力を入力する第2のフィ

ルタ部とを備え、比較手段で第2のフィルタ部の電気出力を第1のフィルタ部の電気出力と比較する特許請求の範囲第1項記載の光周波数ネットワーク・アナライザ。

(3) 測定対象の出射光を入力して偏光面を制御する偏光制御部と、この偏光制御部の出力光を增幅する光増幅部とを備え、光増幅部の出力を第1の光ヘテロダイン検波部へ入力するようにした特許請求の範囲第1項記載の光周波数ネットワーク・アナライザ。

(4) 比較手段が振幅比較手段を備えた特許請求の範囲第1項記載の光周波数ネットワーク・アナライザ。

(5) 比較手段が位相比較手段を備えた特許請求の範囲第1項記載の光周波数ネットワーク・アナライザ。

(6) フィルタ部を光周波数スイーパの2つの出力周波数の差に対応する透過周波数帯域を有するバンド・バス・フィルタで構成した特許請求の範囲第1項記載の光周波数ネットワーク・アナライ

。

(7) 光周波数スイーパとして、基準波長光源部と、この基準波長光源部の発振波長に対応する波長に光出力の波長を制御する光周波数PLL部とを備え、前記光周波数PLL部の光出力の波長を可変とする光周波数シンセサイザ・スイーパを用いた特許請求の範囲第1項記載の光周波数ネットワーク・アナライザ。

(8) 基準波長光源部としてRb原子のD<sub>2</sub>(780nm)線およびD<sub>1</sub>線(795nm)のいずれか1つの吸収スペクトルにレーザダイオードの発振波長を制御したものを用い、光周波数PLL部が前記各発振波長の2倍の波長帯域の光を出力する特許請求の範囲第7項記載の光周波数ネットワーク・アナライザ。

(9) 光周波数PLL部が基準波長光源部の出力光を一方の入力とする光ヘテロダイン検波部と、この光ヘテロダイン検波部の電気出力に関連する出力により出力光の発振波長が制御される可変波長光源部とを備え、この可変波長光源部の出力光

源E<sub>1</sub>で振幅変調する。可変波長光源VLの出力光が加わる被測定ファイバMFおよび基準波長光源SLの出力光が加わる基準ファイバSFの出力光パワーを光検出部PDでそれぞれ検出し、両者の周波数f成分の位相差を位相測定部PSで検出することにより、被測定ファイバMFの波長に対する伝搬遅延時間を測定する。

#### 〈発明が解決しようとする問題点〉

しかしながら、上記のような構成の測定器では、高精度に光の位相伝搬特性を測定できないという欠点がある。またファイバのように光路の長いものは測定できるが、短い導波路などは測定できない。将来のコピーレント光応用技術の重要な部品である光ファイバ、光導波路、波長分波器、光スイッチ、O E I Cなどの性能テストには伝搬特性(損失、ゲイン、位相、遅延)や反射特性などの測定が重要であるが、上記の測定器では不十分である。

本発明はこのような問題点を解決するためになされたもので、高精度に振幅、位相特性などが測

に関連する光を前記光ヘテロダイン検波部の他方の入力とした特許請求の範囲第7項記載の光周波数ネットワーク・アナライザ。

#### 3. 発明の詳細な説明

##### 〈産業上の利用分野〉

本発明は、光ファイバ、光導波路、波長分波器、光スイッチ、O E I Cなどの光部品の光伝送特性や光反射特性等を測定する光周波数ネットワーク・アナライザに関する。

##### 〈従来の技術〉

第12図は従来の光ファイバ損失波長特性測定器を示す構成ブロック図である。可変波長光源VLの出力光は被測定ファイバMFに入射し、その出射光を光検出器PDで検出した後増幅・表示手段DPに出力する。可変波長光源VLの出力波長を掃引したときの光パワーの変化から光ファイバ損失の波長特性を測定する。

第13図は従来の光ファイバ波長分散特性測定器を示す構成ブロック図である。可変波長光源VLSLを周波数fの変調信号

定できる光周波数ネットワーク・アナライザを実現することを目的とする。

##### 〈問題点を解決するための手段〉

本発明に係る光周波数ネットワーク・アナライザは周波数掃引する第1の光出力およびこの第1の光出力に関連する第2の光出力を発生し第1の光出力を測定対象に出射する光周波数スイーパと、前記第1の光出力に基づく前記測定対象の出射光に関連する光および前記第2の光出力を入力する第1の光ヘテロダイン検波部と、この第1の光ヘテロダイン検波部の電気出力を入力する第1のフィルタ部と、前記第1のフィルタ部の電気出力と前記第1および第2の光出力の周波数差に関連する電気信号とを比較する比較手段と、この比較手段の電気出力を入力して信号処理する信号処理手段とを備えたことを特徴とする。

##### 〈実施例〉

以下本発明を図面を用いて詳しく説明する。

第1図は本発明に係る光周波数ネットワーク・アナライザの一実施例を示す構成ブロック図であ

る。1は周波数掃引する光出力を発生する後述（第2図～第11図）の光周波数スイーパ、23はこの光周波数スイーパ1の第1および第2の出力光を入力する光ヘテロダイン検波部、24はこの光ヘテロダイン検波部23の電気出力を入力するバンドバスフィルタからなるフィルタ部、2は前記光周波数スイーパ1の第1の出力光を入力する光方向性結合器、3はこの光方向性結合器2からの出力光を出射する出射端、10はこの出射端3からの出力光を入射する測定対象、4はこの測定対象10からの出射光を入射する入射端、41はこの入射端4からの入射光を入力する磁気光学効果水晶（YIG、鉛ガラス他）等を用いた偏光制御部、42はこの偏光制御部41の出力光を入力する光増幅部、43はPINフォトダイオードやアバランシェフォトダイオードなどからなり前記光増幅部42および前記光周波数スイーパ1の第2の出力光を入力する光ヘテロダイン検波部、44はこの光ヘテロダイン検波部43の電気出力を入力して増幅するバンドバスフィルタからなる

フィルタ部、45は前記フィルタ部44および24からの電気出力を入力する最短比較部、46は前記フィルタ部44および24からの電気出力を入力する位相比較部、31は前記測定対象10からの反射光が光方向性結合器2を介して入力する41と同様の偏光制御部、32はこの偏光制御部31の出力光を入力する42と同様の光増幅部、33はこの光増幅部32および前記光周波数スイーパ1の第2の出力光を入力する43と同様の光ヘテロダイン検波部、34はこの光ヘテロダイン検波部33の電気出力を入力する44と同様のバンドバスフィルタからなるフィルタ部、35は前記フィルタ部34および24からの電気出力を入力する45と同様の最短比較部、36は前記フィルタ部34および24からの電気出力を入力する46と同様の位相比較部、50は前記最短比較部35、45および位相比較部36、46の電気出力を入力する信号処理・表示部である。33、43は第1の光ヘテロダイン検波部を、34、44は第1のフィルタ部を、23は第2の光ヘテロ

ダイン検波部を、24は第2のフィルタ部を、35、36、45、46は比較手段を、50は信号処理手段をそれぞれ構成している。光増幅部32、42はGaAlAsレーザ（780nm帯）やInGaAsPレーザ（1500nm帯）などで構成され、下記の3方式のものを用いることができる。

(イ) 共振器形半導体レーザ増幅器と呼ばれ、発振周波数近傍のバイアス電流を流し、レーザダイオードに倍角光を入射して誘導放出により線形光増幅を行うもの。

(ロ) 光注入同期増幅器と呼ばれ、発振しているレーザダイオードに信号光を入射して発振光の光周波数および位相を制御するもの。

(ハ) 逆行波形レーザ増幅器と呼ばれ、レーザダイオード・チップの両端面を無反射コートし、信号光の通過のみで光増幅するもの。

上記のような構成の光周波数ネットワーク・アナライザの動作を次に詳しく説明する。

光周波数スイーパ1は光出力を周波数掃引して

高精度、高安定、高スペクトル純度に出力する（詳細は後述）。光周波数スイーパ1の周波数の第1の光出力は光方向性結合器2、出射端3を介して測定対象10に入射し、この測定対象10からの出射光は入射端4を介して偏光制御部41に入力する。偏光制御部41は磁気光学効果水晶の旋光性を利用して印加磁界を制御することにより、入力光の偏光面を局部発振光（前記第2の光出力）と同じ偏光面となるように制御する。偏光制御部41の光出力は光増幅部42で増幅された後ハーフミラー等（図では省略）で光周波数スイーパ1からの局部発振光と合成され、光ヘテロダイン検波部43で両周波数の差（ $\omega_0 + \Delta\omega$ ） $- \omega_0 - \Delta\omega$ の周波数をもつ電気信号に変換される。光ヘテロダイン検波部43の電気出力はフィルタ44のバンドバス特性を一部が通過する。また光周波数スイーパ1からの第1の出力光（周波数 $\omega_0$ ）はハーフミラー等で直接局部発振光（周波数 $\omega_0 + \Delta\omega$ ）と合成され、光ヘテロダイン検波部23で両周波数の差 $\Delta\omega$ の周波数をもつ電気

信号に変換される。光ヘテロダイイン検波部23の增幅出力はフィルタ24のバンドパス特性を一部が通過してリファレンス信号となる。フィルタ44の測定対象の特性の影響を受けた電気信号出力とフィルタ24の測定対象の特性の影響を受けていないリファレンス信号出力とは振幅比較部45で両者の振幅が比較され、位相比較部46で両者の位相が比較される。振幅比較部45および位相比較部46の電気出力は信号処理・表示部50で信号処理され、その結果として測定対象の伝搬特性が表示される。測定対象10から出射端3を介して光結合器2から出力される反射光も偏光制御部31、光増幅部32、光ヘテロダイイン検波部33、フィルタ34、振幅比較部35、位相比較部36および信号処理・表示部50において同様に処理され、その結果として測定対象の反射特性が表示される。光導波路を測定対象とする場合には、導波路の伝搬損失や位相差の波長特性等を測定できる。光ファイバを測定対象とする場合には、伝搬損失、遮蔽の波長特性等が短いファイバを用い

て測定できる。レーザダイオード光増幅器を測定対象とする場合には、増幅ゲインの波長特性、位相遅れ等を測定できる。また反射光の特性からは光接続点の反射損失が測定できる。

このような構成の光周波数ネットワーク・アナライザによれば、高精度に振幅、位相、波長特性等を測定できる。

また測定対象の伝搬特性（損失、位相、遅延、ゲイン等）や反射特性を同時にかつ容易に測定できる。

なお光ヘテロダイイン検波部23、33、43にW-Ni（タンクステン、ニッケル）点接触ダイオードやショセフソン素子を使うこともできる。

また、上記の実施例ではフィルタ部24、34、44としてバンドパスフィルタを用いたが、これに限らず、ローパスフィルタを用いてもよい。その場合には△m=0となる。

第2図は第1図の光周波数スイーバ1の一構成例である光周波数シンセサイザ・スイーバを示す構成ブロック図である。11は波長を安定化され

た基準波長光源部、12はこの基準波長光源部11の出力光を入力する光周波数PLL部、13はこの光周波数PLL部12の出力光を変調する光変調部、14はこの光変調部13の出力光を増幅する光増幅部、15は前記光増幅部14の出力周波数をシフトする光周波数シフタ部である。光周波数PLL部12において、121は基準波長光源部11の出力光を一方の入力とする光ヘテロダイイン検波部、122はこの光ヘテロダイイン検波部121の出力により出力光の発振波度を制御される可変波長光源部、123はこの可変波長光源部122の出力光の周波数をシフトする光周波数シフタ部、124はこの光周波数シフタ部123の出力光の周波数を遅延するとともにその出力光を前記光ヘテロダイイン検波部121の他方の入力とする光周波数遅延部である。

このような構成の装置の動作を次に説明する。基準波長光源部11の出力光が光周波数PLL部12に入力すると、光周波数PLL部12は基準波長光源部11の発振波長に対応する波長にその

光出力を固定（ロック）する。すなわち光ヘテロダイイン検波部121は基準波長光源部11からの出力光と光周波数遅延部124の出力光を比較して、その差が小さくなるように可変波長光源部122を制御する。フィードバック回路における光周波数シフタ部123は可変波長光源部122の出力光にオフセット周波数を加え、光周波数遅延部124は可変波長光源部122の出力光周波数と基準波長光源部11の出力光周波数の比を定める。光変調部13は光周波数PLL部12の出力光を変調し、光増幅部14はこの光変調部13の出力光を増幅して光周波数シンセサイザ・スイーバの出力を（第1の光出力として）発生し、光周波数シフタ部15は前記光増幅部14の出力光の周波数を△mシフトした出力光を（周波数発振光出力として）発生する。

第3図は第2図の構成をさらに具体化したもののが構成ブロック図である。基準波長光源部11において、LD1はレーザダイオード、CLはRbガスまたはCsガスが封入された前記レーザダイオ

ード LD 1 の出力光を入射する吸収セル、 HM 1 はこの吸収セル CL の出力光が入射するハーフミラー、 PD 1 はこのハーフミラー HM 1 の反射光を入力するフォトダイオード、 A 1 はこのフォトダイオード PD 1 の電気出力を入力しこれに対応する出力で前記レーザダイオード LD 1 の電流を制御する制御回路、 IS 1 は前記ハーフミラー HM 1 の透過光が通過する灰り光防止用のアイソレータ、 OA 1 はこのアイソレータ IS 1 を通過した光が入力する光増幅素子である。光周波数 PLL 部 1 2 において、 HM 2 は前記基準波長光源部 1 1 の出力光を入射するハーフミラー、 PD 2 は光ヘテロダイン検波部 1 2 1 を構成し前記ハーフミラー HM 2 の透過光を入力する PIN フォトダイオードやアバランシェダイオードなどからなるフォトダイオード、 EC は水晶などから基準周波数を入力して所定の周波数の電気信号を発生する発振器、 MX 1 はこの発振器 EC の電気出力と前記光ヘテロダイン検波部 PD 2 の電気出力が接続するミキサ(混合)回路である。このミキサ(混

合)回路 MX 1 の出力が接続する可変波長光源部 1 2 2 において、 FC は前記ミキサ回路 MX 1 の出力が接続する光周波数変調回路、 VL 1 ~ VL 3 はこの光周波数変調回路 FC の出力を入力する可変波長レーザダイオード、 JS 2 は YIG(イットリウム・アイアン・ガーネット)で構成され前記可変波長レーザダイオード VL 1 ~ VL 3 の出力光が通過するアイソレータ、 OS 1 は複数(第 3 図では 3 つ)のアイソレータ IS 2 を通過した光が入射する光スイッチである。 HM 3 はこの光スイッチ OS 1 の出力光が入射するハーフミラー、 OA 2 はこのハーフミラー HM 3 の反射光を入力する光増幅素子、 UM 1 は光周波数シフタ部 1 2 3 を構成し前記光増幅素子 OA 2 の出力光を入力する超音波変調器、 NL は光周波数倍倍部を構成しこの光周波数シフタ部の出力光を入力する非線形材料を用いた光導波路、 OA 3 はこの光導波路 NL の出力光を増幅する光増幅素子である。前記光周波数 PLL 部 1 2 の出力光を入射する光変調部 1 3 において、 AM 1 、 PM 1 は LiNbO<sub>3</sub>などの電気光学結晶を用いたそれぞれ振幅変調器および位相変調器、 LM 1 は YIGなどの磁気光学結晶を用いた偏光変調器である。 OA 4 は光増幅部 1 4 を構成し、光変調部 1 3 の出力光を増幅する光増幅素子である。光周波数シフタ部 1 5 は 1 2 3 と同様の超音波変調器から構成されている。

このような構成の装置の動作を次に詳しく説明する。

基準波長光源部 1 1 は以下に述べるように、 R<sub>b</sub>(または C<sub>s</sub>) 原子の吸収線にレーザダイオードの発振波長を制御して絶対波長で高精度、高安定化(10<sup>-8</sup> 以上)するものである。レーザダイオード LD 1 の出力光は、吸収セル CL を通過する際に LD 1 の出力光の波長が R<sub>b</sub> ガス(または C<sub>s</sub> ガス)の吸収線と一致すると吸収され、第 4 図(A)の特性曲線図に示すような吸収特性が現れる。第 5 図は R<sub>b</sub> ガスのエネルギー単位を示す説明図で、 R<sub>b</sub> の吸収線は D<sub>2</sub> 線が 780 nm、 D<sub>1</sub> 線が 795 nm であり、 2 通りするとそれぞ

れ 1560 nm、 1590 nm となり、光ファイバ通信波長である 1500 nm 付近と一致するので都合がよい。これはまた光応用計測の分野にも使いやすい波長域である。吸収セル CL の出力光の内ハーフミラー HM 1 で反射された部分は光検出器 PD 1 で検出され、光検出器 PD 1 の出力に対応して制御回路 A 1 でレーザダイオード LD 1 の電流を制御することにより、吸収中心に LD 1 の出力波長をロックする。例えば、第 4 図(A)の b 点にロックしたい場合、制御回路 A 1 でロックインアンプなどを用いて第 4 図(A)の微分波形である第 4 図(B)の b 点(微分波形値が 0 となる点)に固定する。この方法は線形吸収法とよばれ、第 4 図(A)のように吸収スペクトルが太くなるが、飽和吸収法(堀、門田、北野、戸崎、小川: 饱和吸収分光を用いた半導体レーザの周波数安定化、信学技報 OQE82-116)によりドップラシフトで隠れている超微細構造の吸収線を検出して、これにレーザダイオード LD 1 の発振波長をロックすればさらに高安定となる。なお

レーザダイオード LD 1 は恒温槽で温度安定化されている。ハーフミラー HM 1 を透過した光はアイソレータ IS 1 に入射する。アイソレータ IS 1 は、外部からの反射による戻り光がレーザダイオード LD 1 に入りノイズとなることを防止する。アイソレータ IS 1 の出力光は必要に応じて光増幅素子 OA 1 で增幅される。

光周波数 PLL 部 12 は以下に述べるように、可変波長光源部 122 の発振波長を、基準波長光源部 11 の発振波長に対し所定の比および所定のオフセットを持ってロックする機能を有する。基準波長光源部 11 の出力光はハーフミラー HM 2 を透過して光ヘテロダイン検波部 121 のフォトダイオード PD 2 に入射する。光周波数倍倍部 124 からのフィードバック光も光増幅素子 OA 3 を介してハーフミラー HM 2 で反射した後フォトダイオード PD 2 に入射する。基準波長光源部 11 の出力およびフィードバック光の光周波数をそれぞれ  $\omega_s$ ,  $\omega_1$  とすると、光ヘテロダイン検波部 121 の出力電気信号の周波数  $\omega_2$  は  $\omega_2 = \omega_1 - \omega_s$  となる。

(5) Jpn. J. Appl. Phys., Suppl. 18-1, p. 355, 1979) と呼ばれるものを用いている。ADFB レーザは DBR レーザ内の回折格子と直交して表面弹性波 (SAW) を発生させ、チップ内に作りこんだ回折格子と SAW とでブラック回折による光のリング共振器を形成する。SAW の波長を掃引すると、リング共振器の共振波長が変化し、発振波長を掃引することができる。本実施例では発振波長を 1560 nm の値としている。共振器長の長い DFB, DBR や ADFB レーザは発振スペクトルが狭く、スペクトル純度が良いという利点もある。1つの ADFB レーザの可変波長範囲で不十分の場合は第 3 図のように複数の ADFB レーザ (VL 1 ~ VL 3) を用い、光スイッチや光合波器で切換えることができる。すなわち可変波長レーザダイオード VL 1 ~ VL 3 の出力光はそれぞれ戻り光防止用のアイソレータ IS 2 を介して光スイッチ OS 1 に入力し所定の可変波長範囲のものか選択される。光スイッチ OS 1 の出力光の一郎はハーフ

ミラー HM 3 で反射され、光増幅素子 OA 2 に入力する。

光増幅素子 OA 2 の出力光は光周波数シフタ部 123 に入力し、超音波変調器 UM 1 に入射して Bragg の s 次回折光を出力する。水晶発振器などの基準周波数源から供給される超音波の周波数を  $\omega_0$  とすると、回折光の光周波数は  $s\omega_0$  だけシフトする。

光周波数シフタ部 123 の出力光は光周波数倍倍部 124 に入射し非線形材料を用いた光導波路 NL で入力光の 2 次高調波を出力する。すなわち 1560 nm の可変波長レーザダイオード出力を光増幅器を介して入力し、2 次高調波の 780 nm を出力している。導波路として、ZnS の非線形薄膜および TiO<sub>2</sub> の線形薄膜を用いた空気-TiO<sub>2</sub>-ZnS-ガラスの 4 層スラブ光導波路を用いて、非線形効果を効率良く起こしている。なおこの実施例では 2 次高調波を利用しているが、任意の n 次高調波を用いることができる。

光周波数倍倍部 124 の出力光は光増幅素子 O

A3で増幅された後、前述のようにフィードバック光としてハーフミラーHM2で基準波長光源部11からの出力光と合流する。

以上の動作により、光周波数PLL部12の光出力の光周波数 $\omega_0$ は

$$\omega_0 = (\omega_s \pm \omega_1) / n \pm s \omega_0$$

となる（ただし符号は問題でない）。ただし本実施例では光周波数倍数 $n=2$ である。すなわち $\omega_0$ が絶対波長で高精度かつ高安定な光周波数 $\omega_0$ に所定の比 $n$ を介してロックし、さらに任意の周波数 $\omega_0/2$ または $\omega_0$ だけオフセットを持つた光周波数となる。 $\omega_0$ または $\omega_0/2$ を鏡引すれば、高精度の光周波数鏡引が実現できる。ここで $\omega_0$ 、 $\omega_s$ は電気信号であるので、高精度、高安定性は容易に得られる。

光周波数PLL部12の光出力は光変調部13に入力し、振幅変調器AM1で振幅変調され、位相変調器PM1で位相を変調され、偏光変調器LM1で偏光方向を変化される。光変調部13の光出力は光増幅部14の光増幅素子OA4で増幅さ

とができる。

また上記の構成例では基準波長光源部11においてRbまたはCsの吸収線を利用しているが、これらに限らず、絶対波長で高精度、高安定な任意の吸収線例えばNH<sub>3</sub>やH<sub>2</sub>Oの吸収線（1500nm帯）を用いることもできる。この場合には光周波数倍数部124は不要となる。公知のファブリペロー共振器を波長検出器として用いて波長安定化することもできるが、上記のような電子標準的な吸収線を用いた方が特性が優れている。

また第3回装置において $\omega_0$ の代りに $\omega_0' = -\omega_0 + \Omega$ （ $\Omega$ は基準波長光源部11においてロックインアンプを用いた場合のFM変調周波数）の周波数信号をミキサ回路MX1に入力すれば、光周波数PLL部12の光出力から不必要なFM変調成分を除去することができる。

また可変波長レーザダイオードVL1～3としては上記の構成例のようなADFBなどに限られず、レーザダイオードチップ外部に回折格子を用いた外部共振器を付加し、回折格子を回転させ、

れた後、シンセサイザ出力（第1の光出力）となる。また光増幅素子OA4の光出力は光周波数シフタ部15の超音波変調器により出力周波数が△ωシフトし、周波数 $\omega_0 + \Delta\omega$ の周波数発振光（第2の光出力）として出力される。

上記の構成例において、光増幅素子OA1～OA4は前記増幅部32、42と同様のものを用いる。

なお上記の構成例において、光周波数シフタ部123と光周波数倍数部124の位置を入れ替えて、光周波数PLL部12の光出力の周波数 $\omega_0$ を

$$\omega_0 = (\omega_s \pm \omega_1 \pm s \omega_0) / n$$

としてもよい。また光周波数PLL部12において、ミキサ回路MX1および光周波数シフタ部123はいずれもオフセット周波数を加えるためのものであり、いずれか一方を省略することもできる。

また光周波数PLL部12において、通過数 $n$ を1とすれば光周波数倍数部124を省略するこ

その波長選択性を利用して可変波長としたものでもよい。外部共振器形レーザダイオードは狭スペクトルという優れた特性を持つ。

また可変波長レーザダイオードVL1～VL3として、第6図のように共振器内に波長選択性の素子を導入したものを用いてもよい。図においてLD2は半導体レーザ、S1、S2はこの半導体レーザLD2の両端に設けられた無反射コート部、LS1はこの無反射コート部S1から出射される光を平行光とするレンズ、M1はこのレンズLS1を通過した光が反射されるミラー、LS2は無反射コート部S2から出射される光を平行光とするレンズ、UM2はこのレンズLS2を通過する光が入射する第1の超音波変調器、UM3はこの超音波変調器UM2から出射する光が入射する第2の超音波変調器、M2はこの超音波変調器UM3から出射した光を反射するミラー、DR1は前記超音波変調器UM2、UM3を周波数Fで励振する発振器である。第7図は第6回装置における超音波変調器UM2、UM3による波長選択性およ

び周波数倍引動作の様子を示すための動作説明図である。半導体レーザ LD 2 の無反射コート部 S 1 から出射した光はレンズ LS 1 で平行光とされ、ミラー M 1 で反射される。ミラー M 1 からの反射光は光路を元に戻って再び半導体レーザ LD 2 に入射する。無反射コート部 S 2 から出射した周波数  $f_{01}$  の光はレンズ LS 2 で平行光とされ、第 1 の超音波変調器 UM 2 に入射する。この際回折条件から、超音波 G 1 により生じる回折格子 G 3 への入射角  $\theta_{11}$ 、回折後の出射角  $\theta_{01}$ 、光の波長  $\lambda$ 。および超音波の波長  $\Lambda$  の間に次式のような関係がある。

$$\sin \theta_{11} + \sin \theta_{01} = \lambda / \Lambda.$$

… (1)

すなわち特定の入射角  $\theta_{11}$  および出射角  $\theta_{01}$  を満足するような光路を通る光の波長  $\lambda$ 。は超音波の波長  $\Lambda$  が変われば変化する。出射光は超音波によるドップラシフトを受け、この場合は +1 次回折光（超音波の方向と回折される方向が同じ）であるので、その周波数は  $f_{01} + F$  となる。超

音波変調器 UM 2 からの出射光は超音波変調器 UM 3 で再び回折する。前記同様、超音波 G 2 により生じる回折格子 G 4 への入射角  $\theta_{12}$ 、回折後の出射角  $\theta_{02}$ 、光の波長  $\lambda$ 。および超音波の波長  $\Lambda$  の間に次式のような関係がある。

$$\sin \theta_{12} + \sin \theta_{02} = \lambda / \Lambda.$$

… (2)

ただし (2) 式において超音波変調器 UM 2 のドップラシフトによる  $\lambda$  の変化は小さいので無視している。ここでは超音波の進行波 G 2 と回折光の関係が超音波変調器 UM 2 における場合と逆で、-1 次回折光となるので、ドップラシフト量は -F となり、超音波変調器 UM 3 の出射光の周波数は  $f_{01} + F - F = f_{01}$  となる。超音波変調器 UM 3 の出射光はミラー M 2 で反射した後元の光路を逆行して、再び半導体レーザ LD 2 に入射する。逆行する際に、ドップラシフトで UM 3 の出射光の周波数は  $f_{01} - F$  となり、UM 2 の出射光の周波数は  $f_{01} - F + F = f_{01}$  と元の周波数  $f_{01}$  となって半導体レーザ LD 2 に戻るので、

共振状態が持続する。なお回折効率を高めるためにプラグ入射条件を満足させ、超音波の波長  $\Lambda$  のとき入射角  $\theta_{11}$ 、出射角  $\theta_{01}$ 、入射角  $\theta_{12}$  および出射角  $\theta_{02}$  の間に次の関係が成立つようにしている。

$$\theta_{11} = \theta_{01} = \theta_{12} = \theta_{02}$$

この様な構成で超音波の波長  $\Lambda$  を変えれば、 $\theta_{11}$ 、 $\theta_{01}$ 、 $\theta_{12}$ 、 $\theta_{02}$  を満足して共振する光の波長  $\lambda$ 。を次式のように捕引できる。

$$\sin \theta_{11} + \sin \theta_{01} = (\lambda_0 + \Delta \lambda) / (\Lambda_0 + \Delta \Lambda)$$

また可変波長レーザダイオード VL 1 ~ VL 3 として、第 8 図のように共振器内に屈折率を制御できる素子を挿入したもの用いてもよい。第 6 図と同一の部分には同じ記号を付して説明を省略する。EO 1 は LiNbO<sub>3</sub> (ニオブ酸リチウム) 等からなりレンズ LS 2 の出力光を入射する両面無反射コートの電気光学素子、7 1 はこの電気光学素子 EO 1 を制御する電源である。半導体レーザ LD 2 を出射した光はレンズ LS 2 で平行光と

なった後電気光学素子 EO 1 を通過し、ミラー M 2 で反射した後元の光路を逆行して、再び半導体レーザ LD 2 に入射する。この結果ミラー M 1 とミラー M 2 の間で共振器を構成できる。ミラー M 1 とミラー M 2 の間の電気光学素子 EO 1 の光路に沿った長さ L を除く距離を L、電気光学素子 EO 1 の屈折率を n、光速を c、D を諸数とすると、発振周波数  $f_{02}$  は

$$f_{02} = D \cdot c / 2 (L + n (V)^2)$$

… (3)

となる。すなわち電源 7 1 により電気光学素子 EO 1 の屈折強度を変えることにより屈折率 n を変化させることができ、その結果発振周波数  $f_{02}$  を捕引できる。

第 9 図は第 8 図の可変波長レーザダイオードを 2 重共振器形としたものを示す構成ブロック図である。第 8 図と同一の部分は同じ記号を付して説明を省略する。BS 1 はレンズ LS 2 からの出射光を 2 方向に分離するビームスプリッタ、EO 2 はこのビームスプリッタ BS 1 を透過した光を入

射する電気光学素子、M<sub>2</sub>はこの電気光学素子E<sub>O</sub>2の出射光を反射するミラー、E<sub>O</sub>3は前記ピームスプリックタBS1で反射した光を入射する電気光学素子、M<sub>3</sub>はこの電気光学素子E<sub>O</sub>3の出射光を反射するミラーである。電気光学素子E<sub>O</sub>2、E<sub>O</sub>3の光路方向の長さをそれぞれl<sub>1</sub>、l<sub>2</sub>、屈折率をそれぞれn<sub>1</sub>、n<sub>2</sub>、ミラーM<sub>1</sub>、M<sub>2</sub>間の光路に沿ったl<sub>1</sub>を除く距離をL<sub>1</sub>、ミラーM<sub>1</sub>、M<sub>3</sub>間の光路に沿ったl<sub>2</sub>を除く距離をL<sub>2</sub>、qを整数とすると、この場合の発振周波数f<sub>o</sub>は

$$f_{o,2} = q \cdot c / 2(L_1 + n_1(V_1)l_1) - (L_2 + n_2(V_2)l_2) | \dots \quad (4)$$

となる。(4)式は(3)式よりも分母を小さくできるので、第8回装置の場合よりも発振周波数の可変範囲を大きくできる。

第10回は第8回の可変波長レーザダイオードを1チップ上に集積形としたものを示す構成図である。9<sub>1</sub>はGaAlAs、InGaAsPなどから構成されるレーザダイオード、9<sub>2</sub>はこのレ

ショセフソン素子を使うこともできる。これらの素子は過倍とミキサの両方の機能を備えているためのs、ω<sub>1</sub>、ω<sub>3</sub>を同時に入力することができ、第3回におけるミキサ回路MX1は不要となる。この場合、これらの素子の出力すなわち光周波数変調回路FCの入力倍率はω<sub>4</sub>-ω<sub>8</sub>-ω<sub>1</sub>±mω<sub>3</sub>(mは過倍数)となる。またω<sub>4</sub>-ω<sub>8</sub>-2ω<sub>1</sub>±mω<sub>3</sub>とすることもでき、この場合には光周波数倍率部124が不要となる。

第11回は光ヘテロダイン検波部121の他の構成例を示す構成ブロック図である。OCは第2の波長安定化光源を用いた光出力周波数ω<sub>L</sub>の局部発振器、OXはこの局部発振器OCの光出力および前記光周波数倍率部124の光出力が前記光増幅素子OA3を介して入力する非線形光学結晶を用いた光周波数ミキサ、ODはこの光周波数ミキサOXの光出力と前記基準波長光源部11からの出力光を入力して可変波長光源部122に出力するPINフォトダイオードまたはアンバランスフォトダイオードなどからなる光検出器である。

レーザダイオード9<sub>1</sub>の接合部に設けられた光増幅部、9<sub>3</sub>は同じく導波路形外部共振器、9<sub>4</sub>、9<sub>5</sub>はレーザダイオード9<sub>1</sub>の両端にもうけられたミラー、9<sub>6</sub>は前記光増幅部9<sub>2</sub>に対応してレーザダイオード9<sub>1</sub>の表面に設けられた電極、9<sub>7</sub>は前記導波路形外部共振器9<sub>3</sub>に対応してレーザダイオード9<sub>1</sub>の表面に設けられた電極である。電極9<sub>6</sub>を介して接合部に電流I<sub>c,0</sub>を注入して光増幅部9<sub>2</sub>においてレーザ光を発生させ、導波路形外部共振器9<sub>3</sub>に電極9<sub>7</sub>を介して電流I<sub>F</sub>を流し導波路形外部共振器9<sub>3</sub>の屈折率を変化させて発振周波数を錐引する。光増幅部9<sub>2</sub>および導波路形外部共振器9<sub>3</sub>の接合部に沿った長さをそれぞれl<sub>3</sub>、l<sub>4</sub>、屈折率をそれぞれn<sub>3</sub>、n<sub>4</sub>、「を整数とすると、発振周波数f<sub>o</sub>は

$$f_{o,4} = r \cdot c / 2(n_3 l_3 + n_4 (I_F) l_4)$$

となる。

また光ヘテロダイン検波部121にW-Ni(タンクステン、ニッケル)点接触ダイオードや

このような構成によれば、光周波数ミキサOXの光出力周波数ω<sub>6</sub>は非線形光学効果により、ω<sub>6</sub>=ω<sub>1</sub>+ω<sub>L</sub>となる。第3回の構成では光周波数倍率部により、(オフセット周波数は別にして)ω<sub>6</sub>=ω<sub>1</sub>-mω<sub>3</sub>で決まる限られたω<sub>1</sub>しか得られないが、第11回の構成ではいろいろな波長の光を出力できる。例えばR<sub>b</sub>の吸収線を用いてω<sub>6</sub>の波長をλ<sub>s</sub>=780nm、Csの吸収線を用いてω<sub>L</sub>の波長をλ<sub>L</sub>=852nmと選べば、フィードバックループのバランス時の関係ω<sub>s</sub>=ω<sub>L</sub>からω<sub>s</sub>、ω<sub>1</sub>、ω<sub>L</sub>のそれぞれの波長λ<sub>s</sub>、λ<sub>1</sub>、λ<sub>L</sub>の間に1/λ<sub>s</sub>-1/λ<sub>1</sub>+1/λ<sub>L</sub>の関係があるから、λ<sub>1</sub>=9230nmとなる。

以上説明したような光周波数シンセサイザ・サイバは次のような特長を有している:

(イ) その光出力が絶対波長で高精度かつ高安定にR<sub>b</sub>、Csなどの吸収線にロックすることができます、10<sup>-3</sup>以上の安定度の量子標準(従来の周波数標準はCs(9GHz)、Rb(6GHz)のマイクロ波共振を利用していいる)を得ることが

できる。

(ロ) また可変波長レーザダイオードV L 1～VL 3として共振器長の長いH DFBや外部共振器形レーザダイオードを用いるため、共振器のQが高く、発振スペクトル幅を狭くすることができる。  
 (ハ) また光周波数PLLの原理を用いているため、高精度な光周波数スイープができる。  
 (ニ) またRbの吸収線(780nm, 795nm)などを用いていることと2通り方式により、光通信用ファイバで最も光伝送損失が小さい1500nm帯の光を高精度かつ高安定に出力できるので、実用性に優れている。  
 (ホ) 第11図に示したような構成により、いろいろな光周波数を出力できる。

第1図の実施例に述べたような構成の光周波数ネットワーク・アナライザにおける光周波数の動作例を次に示す。

$\omega_s$ の波長: 780nm(レーザダイオードの波長をRbの吸収線にロックする)

$\omega_o$ の波長: 1560nm±50nm

使用しこのパルス光と同期して光周波数を掃引することによりパルス光に対する波長特性を測定することもできる。

#### 《発明の効果》

以上述べたように本発明によれば、高精度に振幅、位相特性などが測定できる光周波数ネットワーク・アナライザを実現することができる。

#### 4. 図面の簡単な説明

第1図は本発明の一実施例を示す構成ブロック図、第2図は本発明で使用する光周波数スイーパ1の構成例を示す構成ブロック図、第3図は第2図の構成を具体化した構成例を示す構成ブロック図、第4図は第3図装置の動作を説明するための特性曲線図、第5図は第3図装置の動作を説明するための説明図、第6図および第8図～第10図は第3図における可変波長レーザダイオードの他の構成例を示す構成説明図、第7図は第6図装置の動作を説明するための動作説明図、第11図は第3図装置の一例の変形例を示すための構成ブロック図、第12図は従来の光ファイバ損失波長特

$\Delta\omega$ の周波数: 100MHz

この動作例は測定光が光ファイバ通信の最適波長である場合で、光通信用装置の測定には特に効果がある。

なお上記の光周波数ネットワーク・アナライザの実施例では光周波数スイーパとして光周波数シンセサイザ・スイーパを用いているが、これに限らず、シンセサイズドされていない高精度なスイーパを用いててもよい。

また上記の実施例では比較手段のリファレンス信号を、第2の光ヘテロダイン検波部23および第2のフィルタ部24を用いて得ていたが、これに限らず、例えば第3図の光周波数シンセサイザ・スイーパの光周波数シフタ15に加わるシフト周波数 $\Delta\omega$ に対応する変調用電気信号を用いてよい。この場合には第2の光ヘテロダイン検波部および第2のフィルタ部を省略して構成を簡単にすることができる。

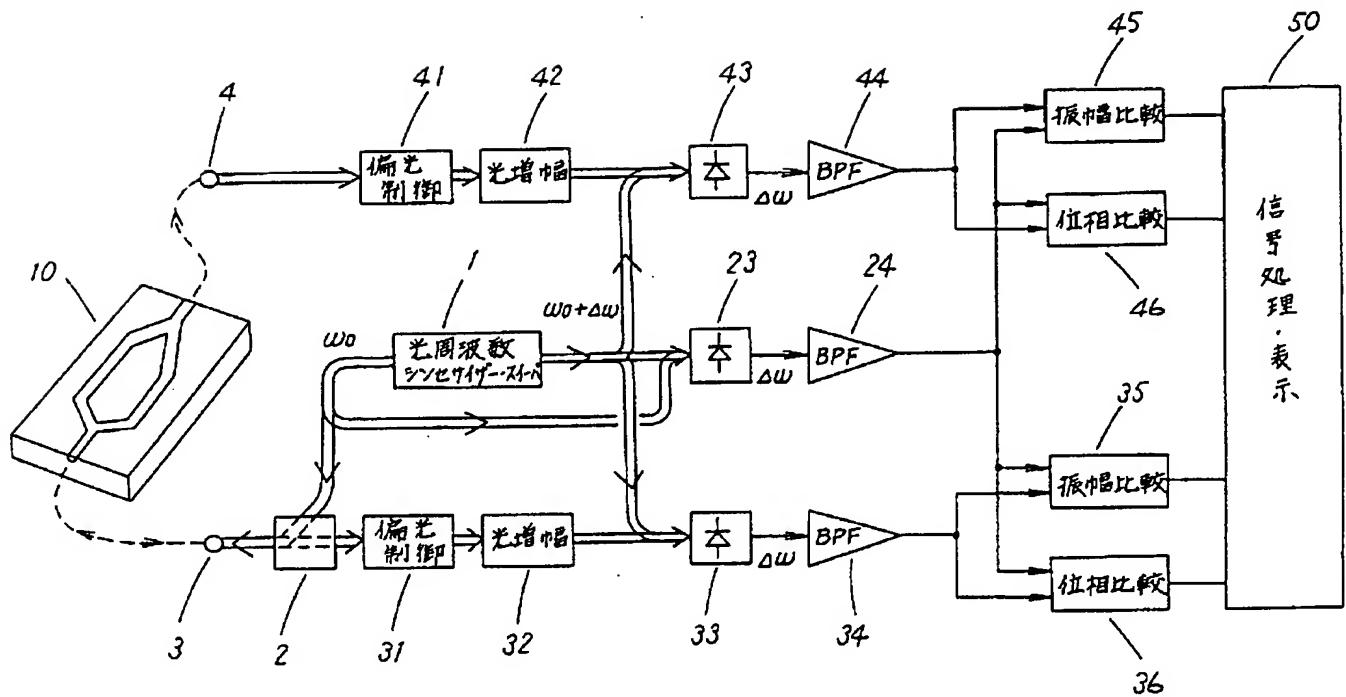
また光周波数ネットワーク・アナライザから測定対象への出射光は連続光に限らず、パルス光を

性測定器を示す構成ブロック図、第13図は従来の光ファイバ波長分散特性測定器を示す構成ブロック図である。

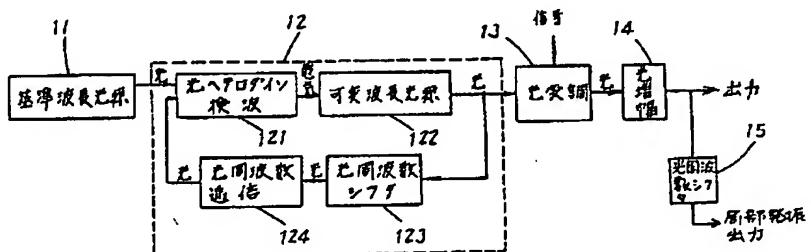
1…光周波数スイーパ、10…測定対象、23…第2の光ヘテロダイン検波部、24…第2のフィルタ部、33, 43…第1の光ヘテロダイン検波部、34, 44…第1のフィルタ部、35, 36, 45, 46…比較手段、50…信号処理手段。

代理人 弁理士 小沢信助

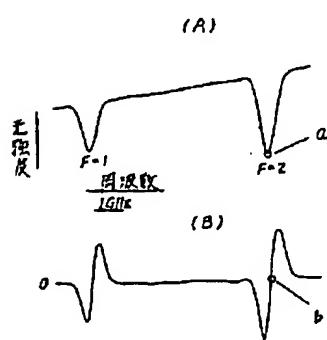
第1図



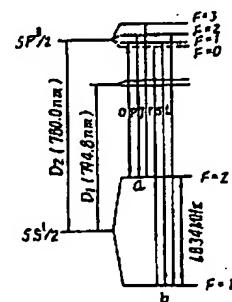
第2図



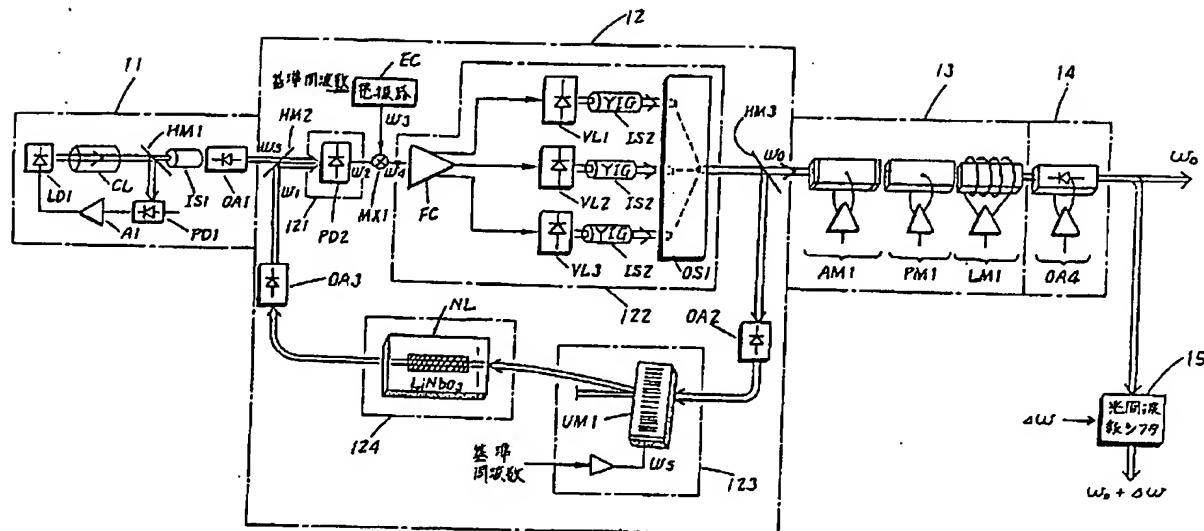
第4図



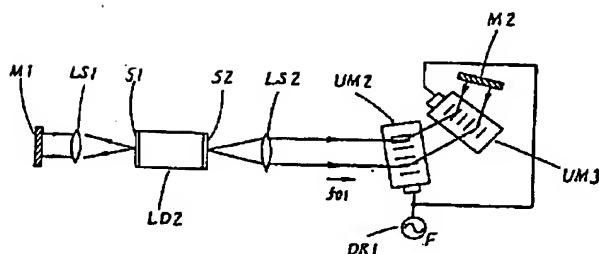
第5図



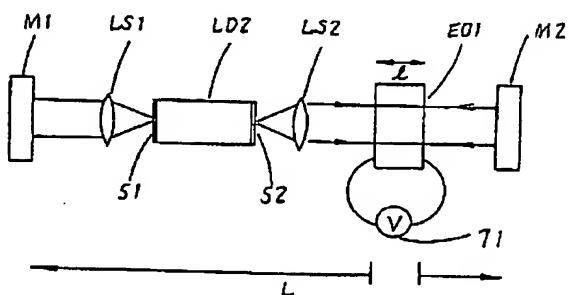
第3図



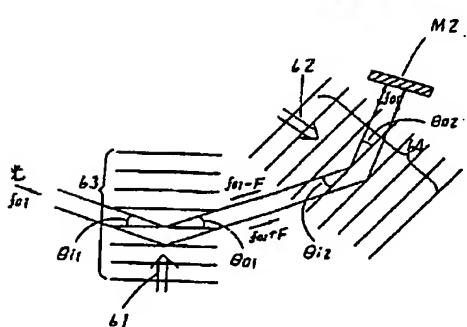
第6図



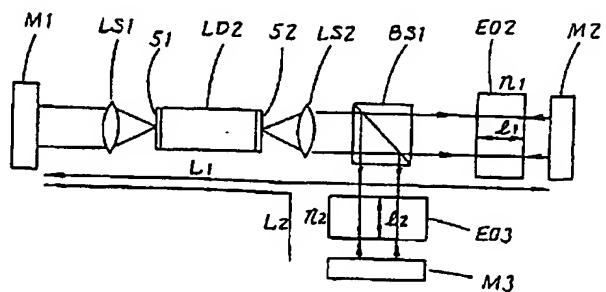
第8図



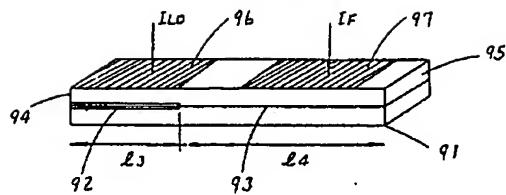
第7図



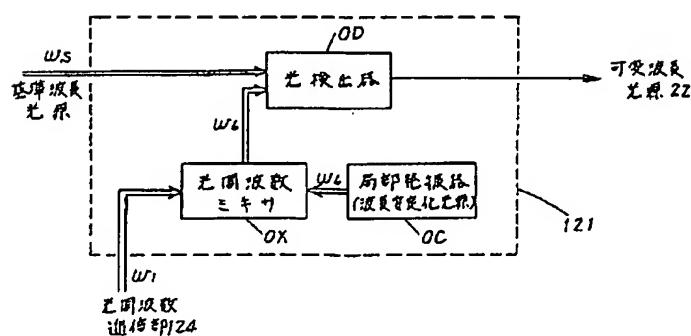
第9図



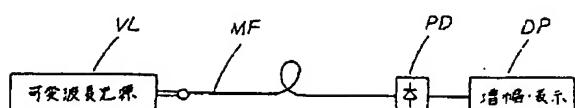
第 10 図



第 11 図



第 12 図



第 13 図

